ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/332054954

Das Klima ändert sich: Ein Überblick zum Klimawandel in den Alpen

Article · March 2019

CITATIONS
0

READS
37

1 author:



Markus Stoffel
University of Geneva
509 PUBLICATIONS **10,602** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Frequency and magnitude assessment of debris flows and rockfalls processes, based on dendrogeomorphological methods and modeling in central Mexico View project

HIGHNOON View project

All content following this page was uploaded by Markus Stoffel on 28 March 2019.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Das Klima ändert sich: Ein Überblick zum Klimawandel in den Alpen

Markus Stoffel [1,2,3] (markus.stoffel@dendrolab.ch)

[1] Climatic Change and Climate Impacts, Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, Genève
[2] Département des Sciences de la Terre, Université de Genève, Genève
[3] Dendrolab.ch, Institut für Geologie, Universität Bern, Bern

1 Einleitung

Der Klimawandel ist Realität, ganz besonders auch im Hochgebirge. Durch höhere Lufttemperaturen steigt die Nullgradgrenze in den Bergen, dadurch nimmt die Fläche und das Volumen der Gletscher ab. Der Permafrost taut stärker auf, in tieferen Lagen wird der „dauergefrorene Untergrund" sogar ganz verschwinden. Als Folge dieser Veränderungen können Hänge, Moränen und auch Felswände destabilisiert werden, so dass künftig mehr Geschiebe verfügbar wird, welches bei kommenden Starkniederschlägen in die Täler transportiert werden kann. Gleichzeitig können neue Rutsch- und Sturzprozesse auftreten, die bisher unbekannte Gefahrengebiete betreffen.

In hochalpinen Gebieten der Alpen treten seit Jahren immer wieder neue Gefahrenherde auf, die auf den Rückgang der Gletscher und des Permafrosts zurückzuführen sind. Diese sogenannten „neuen Gefahren" bedrohen teilweise die Sicherheit von Siedlungen und Infrastrukturen. Zusammen mit der Veränderung der Temperaturen einher gehen auch Verschiebungen in der Niederschlagsverteilung innerhalb des Jahres und das vermehrte Auftreten sehr intensiver Niederschlagsereignisse, was sich gerade auf die Auslösung von Murgängen, den Geschiebetransport in Gewässern und Sturzprozesse auswirken kann. Dieses Kapitel vermittelt einen Überblick über die rezente Veränderung des Klimas in der Schweiz und die möglichen Veränderungen von Temperatur und Niederschlag bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts. Die Ausführungen zu den Veränderungen beziehen sich einerseits auf die Schweiz, andererseits wird aber auch die Temperatur- und Niederschlagsveränderung im Mattertal, dem Austragungsort des diesjährigen FAN-Herbstkurses, explizit betrachtet.

2 Wetter, Klima und beobachtete Klimaerwärmung

Das Zitat „climate is what you expect, weather is what you get" von Robert A. Heinlein zeigt den Unterschied zwischen Klima und Wetter sehr anschaulich auf. Beim Wetter handelt es sich um den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt. Das Wetter beschreibt Phänomene und Prozesse, die sich in Zeiträumen von einigen Minuten bis mehreren Stunden zutragen. Das Klima hingegen ist der für einen Ort typische Wetterzustand während eines längeren Zeitraumes, der sich über Monate bis Jahrzehnte erstreckt.

So zeigt zum Beispiel die AG NAGEF (2015) in ihrer Publikation zur Gefahrenhinweiskarte Periglazial und stellvertretend für die Station Interlaken, dass die langjährige Monatsmitteltemperatur im Juli bei rund 18°C liegt. Das effektive Wetter im Juli 2014 zeigte starke Temperaturschwankungen (Abb. 1), nämlich zwischen knapp 9 und maximal 31°C. Das Temperaturmittel entspricht damit mit rund 18°C dennoch dem langjährigen Mittelwert. Das Wetter kann also grosse Ausreisser hervorbringen, ohne dass sich das Klima verändert.

Im Gegensatz dazu kann bei der längerfristigen Betrachtung eine klare Veränderung festgestellt und ein Klimawandel dokumentiert werden: Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit (um 1850) und vermehrt noch seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die globale Lufttemperatur stark angestiegen, insgesamt um 0.8°C (Abb. 2). Während das globale Mittel einen ersten, groben Überblick über den Zustand und die Veränderung des Klimas vermitteln mag, so erfasst sie kleinräumliche oder regionale Entwicklungen kaum. Die globale Erderwärmung trifft sowohl das Mittelland und den Alpenraum

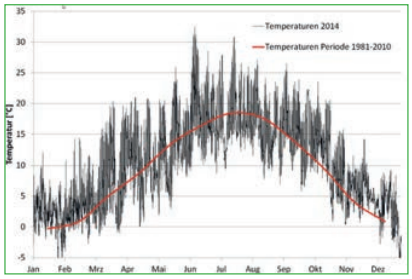


Abbildung 1: Klima in Form von Monatsmitteltemperaturen zwischen 1981 und 2010 für die Station Interlaken sowie Wetter in Form von 10-Minuten-Temperaturwerten für das Jahr 2014 (Datenquelle: MeteoSchweiz).

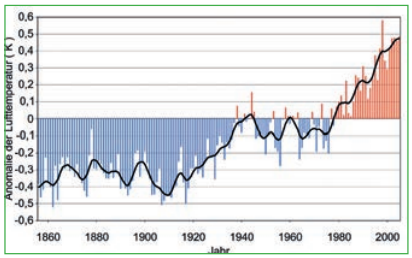


Abbildung 2: Jahresmittel der globalen Lufttemperatur, Anomalien für den Zeitraum 1856–2005 bezogen auf das Mittel 1961–1990 (Quelle: Gerstengarbe und Werner, 2007).

überdurchschnittlich stark. So stieg z.B. auf der Alpennordseite die mittlere Jahrestemperatur im 20. Jahrhundert um rund 1.7°C an. Aussagen zum Niederschlag sind schwieriger, da hier die natürliche Variabilität beträchtlich ist. Grundsätzlich wurden jedoch in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts im Schweizer Alpenraum während der Sommermonate tendenziell grössere Niederschlagmengen (ca. +10%) verzeichnet als dies im letzten Jahrhundert der Fall war.

3 Klimaentwicklung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts

Das Ausmass der zu erwartenden, künftigen Klimaänderung in der Schweiz hängt sowohl von der Region wie auch von der Jahreszeit ab, und kann vorab für die grossräumigen Einheiten des Landes (z.B. Mittelland, Südschweiz) prognostiziert werden. Aussagen für den Alpenraum sind aufgrund der komplexen Topographie, der kleinräumlichen, klimatischen Unterschiede und der momentanen Auflösung der Modelle mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Grundsätzlich kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Klimaveränderung im Gebirge stärker manifestieren wird als dies in tieferen Lagen der Fall sein wird.

Die künftige Entwicklung des Klimas hängt zudem und ganz massgebend vom Verlauf der künftigen globalen Treibhausgasemissionen ab. In seiner jüngsten Untersuchung (CH2011) hat ein Schweizer Expertenteam zwei Emissionsszenarien verwendet, die explizit keine Intervention (A2 und A1B), sprich Treibhausgasreduktionen, annehmen, und vielmehr von einer Zunahme der Emissionen ausgehen. Zudem wurde ein Klimastabilisierungsszenario (RCP3PD) gewählt, welches eine Senkung der Emissionen bis 2050 um ca. 50 % annimmt. Letzteres Szenario entspricht in groben Zügen dem Ziel, die globale Erwärmung auf unter +2°C zu reduzieren, und kann daher als Beispiel herangezogen werden, wie sich die Umsetzung des Klimaabkommens von Paris (COP21) auf die Klimaentwicklung auswirken dürfte. Beispielhaft wurden im Bericht CH2011 gemessene jahreszeitliche Änderungen in Temperatur und Niederschlag für die Nordostschweiz dargestellt, und die zu erwartenden Veränderungen für die drei unterschiedlichen Emissionsszenarien und ausgewählte Zeitabschnitte der Zukunft dargestellt. Die Resultate dieser Untersuchung sind in Abb. 3 dargestellt.

Im Rahmen des EU-Projekts ACQWA (www.acqwa.ch; Beniston et al., 2011) wurden, un-

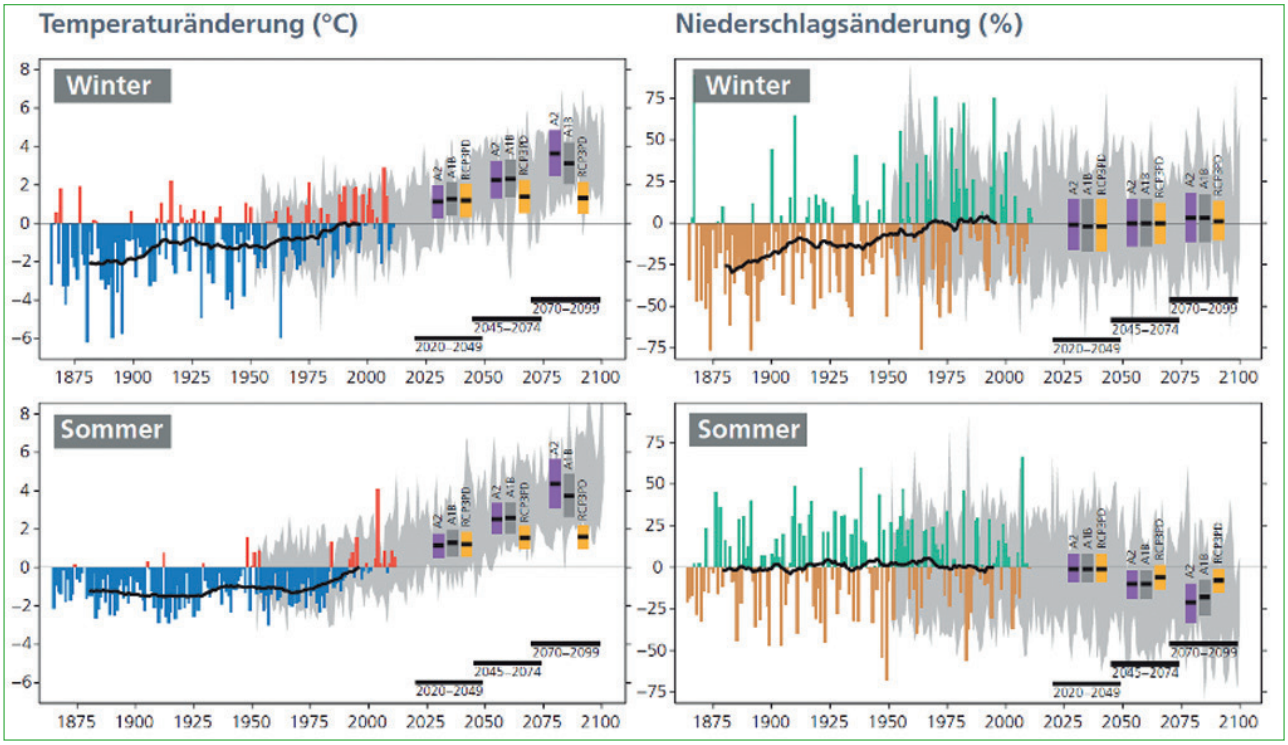


Abbildung 3: Vergangene und zukünftige Änderungen der saisonalen Temperatur (°C) und des Niederschlag (%) in der Nordostschweiz. Die Änderungen beziehen sich auf den Referenzzeitraum 1980–2009. Die dünnen farbigen Balken zeigen die jährlichen Abweichungen vom gemessenen Durchschnitt über den Referenzzeitraum, die dicken schwarzen Linien sind die entsprechenden über 30 Jahre geglätteten Durchschnittswerte. Die graue Schattierung gibt die Spannweite der jährlichen Abweichungen an, wie sie die Klimamodelle für das A1B Szenario prognostizieren (das 5–95 Perzentil für jedes Jahr über den ganzen Modellsatz). Die dicken farbigen Balken zeigen die besten Schätzungen der Projektionen in die Zukunft und den damit verbundenen Unsicherheitsbereich für ausgewählte Zeiträume von 30 Jahren und für drei verschiedene Szenarien von Treibhausgasemissionen (Quelle: CH2011).

ter Annahme des Szenarios A1B, verschiedene europäische Klimamodelle auf Veränderungen im Alpenraum hin betrachtet (Gobiet et al., 2014), dies mit dem Ziel, für diesen komplexen Raum verbesserte Aussagen zu treffen, aber auch um höhenabhängige Veränderungen der jahreszeitlichen Temperaturen, Niederschlagssummen und Schneetage bis zum Ende des Jahrhunderts festzustellen. Veränderungen der Temperaturen beziehen sich in dieser Studie auf die Referenzperiode 1961–1990, und wurden für die Mitte (2021–2050) und das Ende des 21. Jahrhunderts (2069–2098) berechnet. Die Modelle sagen für den gesamten Alpenraum, alle Jahreszeiten und beide Zeithorizonte eine Zunahme der Lufttemperaturen voraus. Im Mittel beträgt die Erwärmung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts zwischen 1.2°C im Frühling und 1.6°C in Sommer und Winter, sowie zwischen 2.7°C im Frühling und 3.8°C in Sommer gegen das Ende des Jahrhunderts. Im jährlichen Mittel wird über die nächsten Jahrzehnte ein durchschnittlicher Anstieg der Temperatur von 1.5°C oder 0.25°C pro Jahrzehnt erwartet. Bis zum Ende des Jahrhunderts muss mit einer Zunahme der Erwärmung auf bis zu +3.3°C gerechnet werden, was einer Zunahme von +0.36°C pro Jahrzehnt entspricht.

Die Ergebnisse der höhenabhängigen Veränderungen sind in Abb. 4 zusammengefasst. Aufgrund der Auflösung des Modells können lediglich Höhen unter 2700 m dargestellt werden. Nichtsdestotrotz kann eine anormal starke Erwärmung in grossen Höhen und für

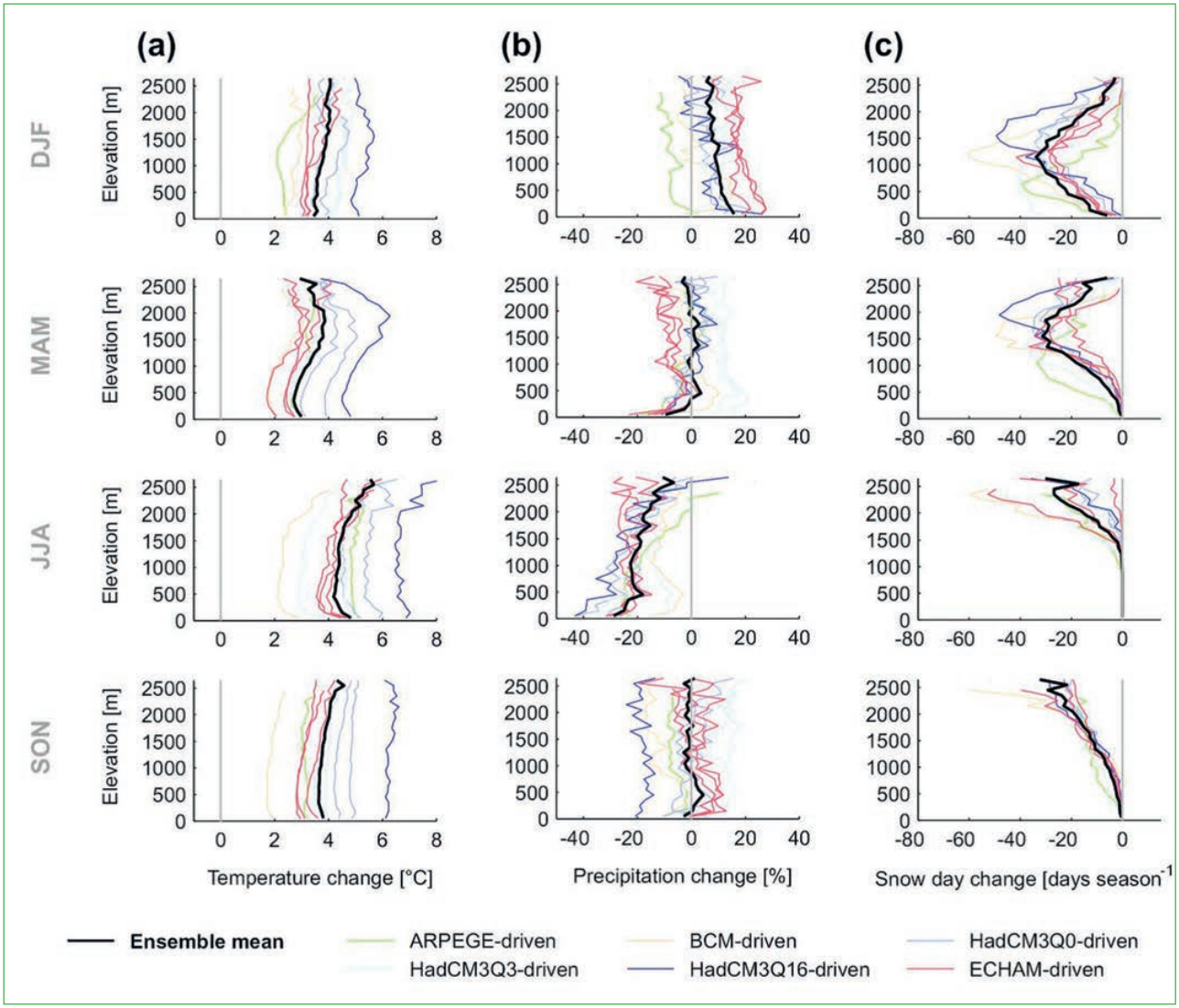


Abbildung 4: Höhenabhängigkeit mittlerer jahreszeitlicher Veränderungen (a) der Lufttemperatur auf 2 m Höhe, (b) des Niederschlags und (c) der Anzahl Schneetage in den Alpen, und für jeweils 100 Höhenmeter umfassende Klassen. Resultate basieren auf zehn GCM-RCM-Ketten (GCM= globales Klimamodell; RCM= regionales Klimamodell) des ENSEMBLES-Projekts, jeweils unter Annahme des A1B Treibhausgasszenarios. Veränderungen beziehen sich auf den Zeitraum 2070 – 2099, die Resultate werden mit der Referenzperiode 1961 – 1990 verglichen (Quelle: Gobiet et al., 2014).

alle Jahreszeiten festgestellt werden, daneben kann aber auch der starke Anstieg der mittleren Sommertemperatur in tieferen Lagen erkannt werden. Der starke Temperaturanstieg im Gebirge kann vorab im Frühling, teilweise aber auch im Sommer und Herbst mit der Abnahme der Schneedecke und dem damit verbundenen Schneealbedo erklärt werden. In der mittleren Kolonne sind die Veränderungen der saisonalen Niederschläge aufgeführt. Es fällt auf, dass eine Höhenabhängigkeit der Niederschläge weitestgehend fehlt, ausser etwa bei der Tendenz hin zu trockeneren Sommern und einer leichten Reduktion der Winterfeuchte in grösseren Höhen (gerade im Vergleich zu den tieferen Lagen). Es zeigt sich, dass die für den Sommer vorhergesagte, stärkere Erwärmung Südeuropas sich auch auf den Alpenraum ausdehnen dürfte: die mediterrane Trockenheit und der starke Anstieg der Lufttemperaturen dürften daher in Zukunft wahrscheinlich auch den Alpenraum einschliessen. Abgesehen vom Sommer, der vermutlich trockener als heute ausfallen dürfte, sind die Tendenzen für die übrigen Jahreszeiten aber noch immer recht unklar; der Niederschlag in der alpinen Region kann demnach sowohl zu- oder abnehmen. Was erstaunt, ist die übereinstimmende Aussage der zehn Modellensembles und die Form der vertikalen Profile, die wenn auch nicht im Ausmass des Wandels, so doch in ihrer Form vergleichbare Resultate liefern.

Die Schneemengen und Dauer der Schneebedeckung dürften auf Höhen bis 1500 m in Zukunft stark abnehmen, und dieser Trend dürfte sich bis in Höhen von mehr als 2000 m durchziehen. Auch wenn schneereiche Winter zum Ende des 21. Jahrhundert nach wie vor vorkommen werden, so wird deren Häufigkeit von 8 in 30 Jahren (Referenzzeitraum 1961 – 1990) auf ein einzelnes Ereignis (2071–2100) reduziert. Abbildung 5 stellt die Veränderung grafisch dar.

Bezüglich des Auftretens von Extremen kann festgestellt werden, dass im heutigen Klima vor allem mittlere Temperaturen häufig sind, extrem kalte oder extrem heisse Extreme treten dagegen viel seltener in Erscheinung. Mit dem Klimawandel muss, wie vorgängig dargestellt, davon ausgegangen werden, dass eine Verschiebung zu höheren Temperaturen hin erfolgen wird. Die Auswirkungen dürften dabei bei Extremtemperaturen besonders stark sein: Sehr heisses Wetter wird viel häufiger und extrem kaltes viel seltener vorkommen, wie in Abb. 6 beispielhaft angedeutet. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass Wärmeperioden und Hitzewellen in künftigen Sommern häufiger auftreten dürften, und auch intensiver und länger anhalten werden. Projektionen zur Häufigkeit und Intensität von Niederschlagsereignissen sind mit grösseren Unsicherheiten behaftet, so dass klare Aussagen schwierig sind. Einerseits treten starke und extreme Niederschläge per Definition nur selten in Erscheinung, andererseits sind sie durch das Zusammenspiel verschiedener, komplexer Prozesse auch heute nur schwer mit Modellen fassbar. Zur Komplexität tragen unter anderem die thermodynamischen Prozesse bei, welche zu einer Intensivierung des Niederschlags beitragen können. Dazu gehört etwa die Fähigkeit eines wärmeren Klimas, vermehrt Feuchte

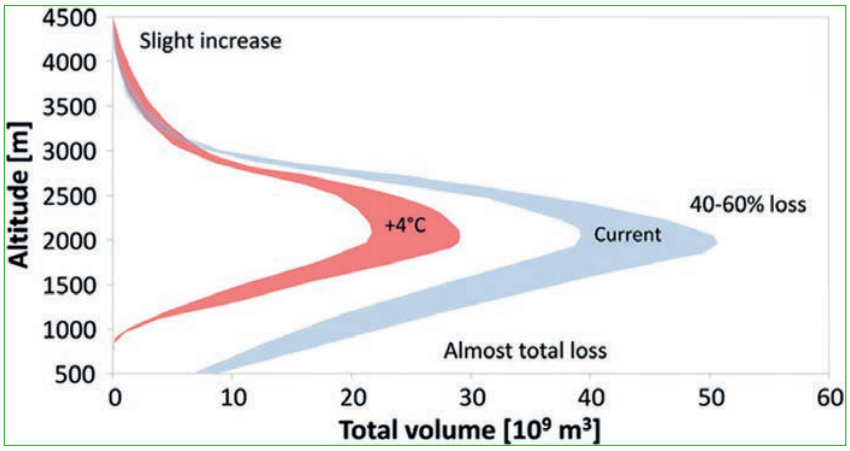


Abbildung 5: Schneevolumen in den Schweizer Alpen unter aktuellen (blau) Bedingungen und bei einer Zunahme der Temperatur um + 4°C (rot, entspricht in etwa der Erwärmung zum Ende des Jahrhunderts). Die Bandbreite in den beiden Darstellungen repräsentiert die natürliche Variabilität zwischen schneearmen und –reichen Wintern. Volumen werden von der mittleren Schneehöhe abgeleitet und mit der pro Höhenstufe verfügbaren Fläche multipliziert (Quelle: Gobiet et al., 2014).

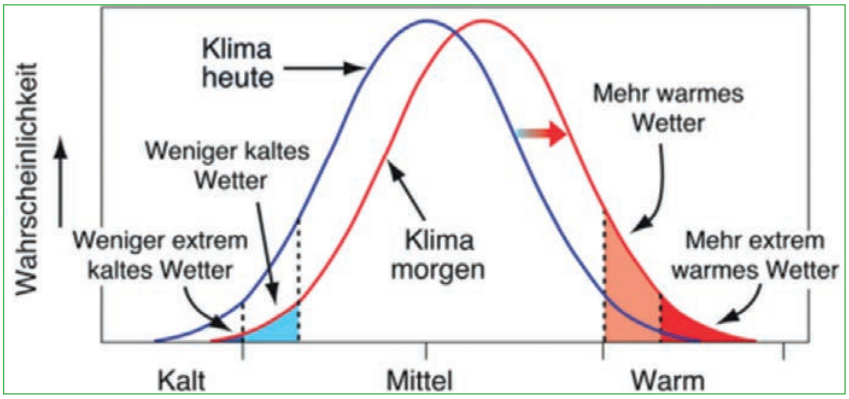


Abbildung 6: Möglicher Einfluss der Klimaänderung auf die Häufigkeit von Extremereignissen am Beispiel von Temperaturextremen (Quelle: OcCC 2003).

aufzunehmen, aber auch mögliche Veränderungen der atmosphärischen Schichtung. Daneben tragen dynamische Effekte, wie etwa Veränderungen in der Atmosphärenzirkulation, zu Veränderungen in der Häufigkeit von starken und extremen Niederschlägen bei. In ihrer Untersuchung zu Starkniederschlägen im Alpenraum stellen Rajczak et al. (2013) fest, dass deren Intensität im Alpenraum bis 2100 in allen Jahreszeiten und in den meisten Regionen zunehmen werden. Die substantiellsten und mit Abstand häufigsten Verschärfungen werden für den Herbst und die Alpennordseite vorhergesagt, wo die Veränderungen in der Intensität bis zu +30% ausmachen dürften, womit die Wiederkehrdauer etwa halbiert werden dürfte.

4 Versuch einer Darstellung in der Veränderung starker Niederschläge für das Mattertal

Im Rahmen einer Untersuchung zu möglichen Veränderungen in der Murgangaktivität haben Stoffel et al. (2014) die Entwicklung der starken Niederschläge (>30 mm) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts untersucht. Dazu wurden die Resultate der bestehenden Klimamodelle und unter Verwendung des Treibhausgasszenarios A1B die Werte mittels statistischer Ansätze für die MeteoSchweiz-Stationen Grächen und Zermatt herunterskaliert, dies jeweils für Paare von zwei Monaten (d.h. Januar und Februar, März und April, usw.). Veränderungen sind bis zur Mitte des Jahrhunderts nicht signifikant, zum Ende des 21. Jahrhunderts zeigen sich merkliche Zunahmen in den Winterniederschlägen, so etwa im November/Dezember (mit +0.16 und +0.20 mm/Tag in Zermatt und Grächen) und Januar/Februar (+0.6 und +0.18 mm/Tag). Für den Zeitraum, der unter jetzigen Bedingungen die meisten Murgänge kennt, zeichnet sich eine Abnahme der mittleren Niederschlagsmengen und der Anzahl Regentage ab. In Zermatt wird eine Redukti-

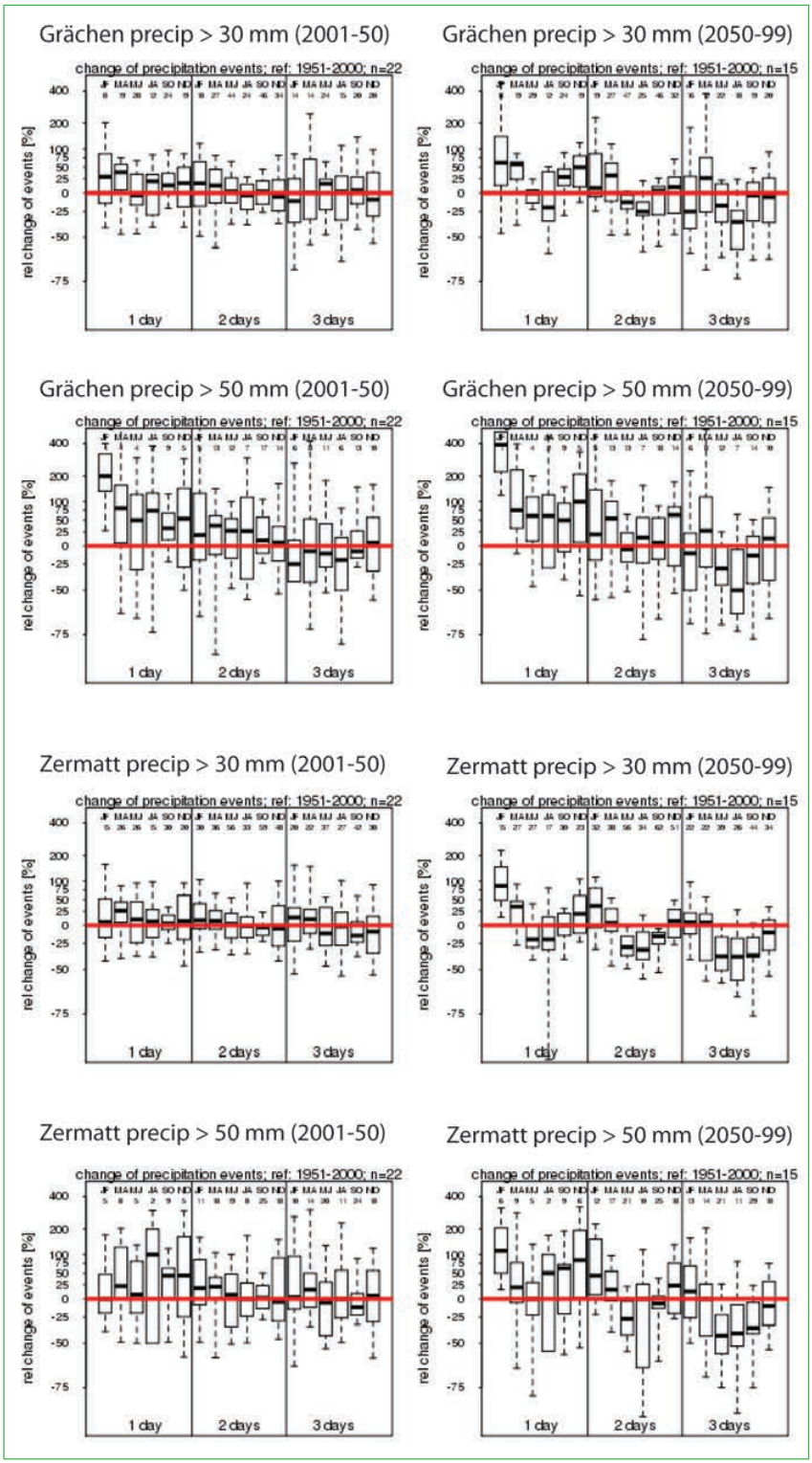


Abbildung 7: Veränderungen im Auftreten von Niederschlagsereignissen über 30 und 50 mm in Grächen und Zermatt. Links dargestellt sind die Veränderungen von 2001–2050 basierend auf 22 herunterskalierten, regionalen Klimamodellen (RCMs), rechts werden die Veränderungen für den Zeitraum 2050–2099 aufgezeigt, hier basierend auf 15 RCMs. Zahlen (n=) verweisen auf den Mittelwert der Ereignisse im Modell für die Referenzperiode 1951–2000. Die Boxplots repräsentieren das 10., 25., 50., 75., und 90. Perzentil (Quelle: Stoffel et al., 2014).

on der Niederschläge in der Höhe von –0.47 mm/Tag für Mai/Juni, –0.45 mm/Tag für Juli/August und –0.2 mm/Tag für September/Oktober und den Zeitraum um 2100 erwartet.

Veränderungen bei den stärkeren Niederschlägen (Abb. 7) sind im Juli/August und für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts am deutlichsten, es muss mit einer Abnahme der Niederschläge >30 mm, besonders auch bei den zwei- und dreitätigen Ereignissen, gerechnet werden. Am deutlichsten ist die Abnahme bei den Niederschlagsereignissen über eine Dauer von mindestens drei Tagen und Regensummen von mehr als 40 mm, hier beläuft sich die Abnahme auf mehr als 50%. Gleichzeitig werden in einem wärmeren Klima kurze (<1 Tag), aber intensive Niederschlagsereignisse (>40 mm) eher zunehmen, und dies teils auch im Sommer. Zu Beginn (Mai/Juni) und am Ende (September/Oktober) der unter heute gültigen Bedingungen üblichen „Murgangsaison“ wird eine leichte Abnahme im Auftreten extremer Niederschläge vorausgesagt.

Die markantesten Veränderungen werden für die Monatspaare März/April und November/Dezember vorausgesagt. Unter den jetzigen klimatischen Bedingungen fällt der Niederschlag in diesen Monaten zumeist in der Form von Schnee und wirkt sich so nicht oder nur indirekt auf Massenbewegungen aus. Aus Abb. 7, die einzig Niederschläge berücksichtigt welche auf ca. 2500 m ü.M. in flüssiger Form fallen, geht jedoch hervor, dass gegen das Ende des Jahrhunderts hin vermehrt auch Starkregenereignisse zu Zeiten auftreten können, in welchen unter jetzigen Bedingungen in den allermeisten Fällen und auf diesen Höhen Schnee fällt. Wie bereits zuvor sind die Veränderungen in den nächsten Jahrzehnten, mit Ausnahme etwa der Zunahme von extremen Niederschlägen (>40 mm/Tag), nicht sehr markant. Das Bild ändert sich jedoch für die zweite Hälfte des Jahrhunderts, für welches eine starke Zunahme in der Frequenz früher (März/April) und später (November/Dezember) Niederschlagsereignisse erwartet werden muss, und eine Abnahme in den Sommerereignissen (Juli/August). Die Zunahme beträgt dabei ≥45% im März/April und November/Dezember, was als eindeutiges Signal gewertet werden kann.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass die letzten Jahre zahlreiche neue Erkenntnisse zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse ermöglicht haben. Gleichzeitig bestehen aber, aufgrund der komplexen Topographie im Alpenraum und der grobmaschigen Klimamodelle, nach wie vor grosse Unsicherheiten, wenn es um Aussagen in einzelnen, kleinräumlichen Gebieten geht, die in den jetzigen Modellen nur ungenügend erfasst werden können.

Literatur

AG NAGEF (2015): Klimawandel und Naturgefahren – welche Veränderungen sind im Berner Oberland zu erwarten? Interlaken, September 2015.

Beniston, M., Stoffel, M., Hill, M. (2011): Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: can current water governance cope with future challenges? Examples from the European “ACQWA” project. Environmental Science and Policy 14, 734-743.

CH2011 (2011): Swiss Climate Change Scenarios CH2011 2011: 88 pp.

Gerstengarbe, F.W., Werner, P.C. (2007): Der rezente Klimawandel. In: Endlicher W., Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.), Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, S. 34–43.

Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M. (2014): 21st century climate change in the European Alps – A review. Science of the Total Environment 493, 1138–1151.

OcCC (2003): Extremereignisse und Klimaänderung. Bern: OcCC (www.occc.ch/reports_d.html).

Rajczak, J., Pall, P., Schär, C. (2013). Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. Journal of Geophysical Research 118: 3610–3026.

Stoffel, M., Mendlik, T., Schneuwly-Bollschweiler, M., Gobiet, A. (2014): Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps. Climatic Change 122, 141–155.

View publication stats